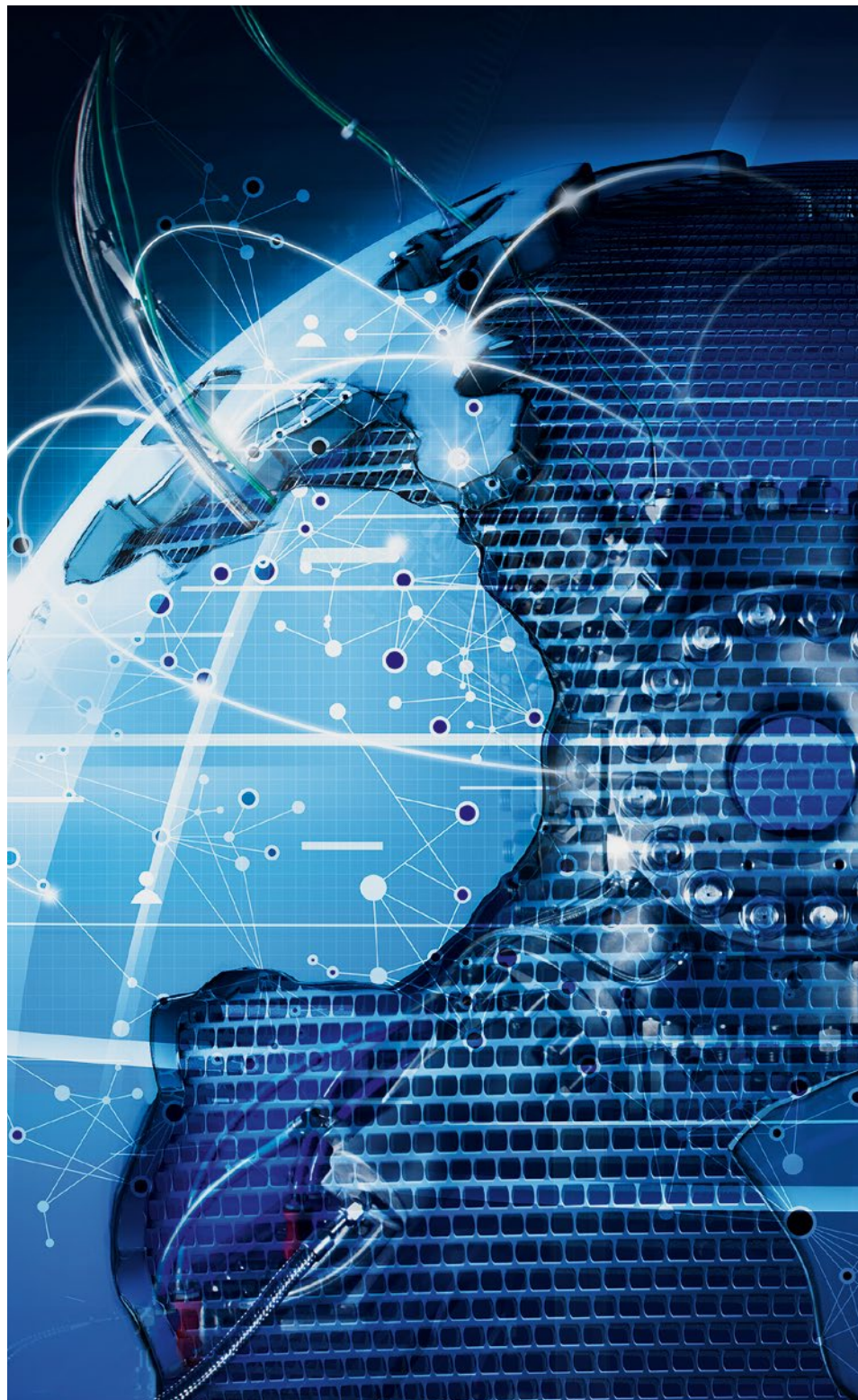


■ Motorenforschung in internationalen Kooperationen

Die Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) hat sich in den letzten Jahren stark internationalisiert. Seit 2015 nutzt sie dafür das Programm des Collective Research Networking (CORNET) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), um die internationale Zusammenarbeit in der vorwettbewerblichen Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) an Verbrennungsmotoren zu fördern. Das Potenzial besteht nicht nur in ressourceneffizientem Wissenserwerb und -transfer, sondern auch in der Ausbildung des hochqualifizierten wissenschaftlichen Nachwuchses.

1 MOTIVATION

Internationale Forschungsk Kooperationen sind in vielen Disziplinen ein bewährtes Mittel der Ressourcenallokation. Sie sind dort besonders ausgeprägt, wo es gilt, aufwändige Grundlagenforschung zu finanzieren. In der Europäischen Union wurde mit dem European Research Area Networks (ERA-NET) im Jahr 2005 ein Instrument geschaffen, das es ermöglicht, anwendungsorientierte Verbundforschung länderübergreifend zu organisieren und zu finanzieren. In der Folge gründete die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) 2011 im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) das Netzwerk CORNET, das durch vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen den Zugang zu internationaler Spitzenforschung eröffnet. An CORNET sind Ministerien und Förderorganisationen aus gegenwärtig 13 Län-





© FVV

STIMMEN AUS DER FVV



Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende ist Inhaber des Lehrstuhls Fahrzeugantriebe am Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart (IFS), das als Forschungsstelle viele nationale und internationale FVV-Vorhaben bearbeitet. „Internationale Forschungsk Kooperationen bringen den wissenschaftlichen Nachwuchs zusammen.“

© Pauline Bonnke | Fraunhofer IPA



Dr. Motoishi Murakami ist Forschungsleiter des CORNET-Projektes in der Vorentwicklung Antriebsstrang der Toyota Motor Corporation in Susonu Shizouka, Japan. „Die internationale Zusammenarbeit von AICE und FVV fördert den Wissens- und Best-Practice-Austausch in der Forschung an konventionellen, modernen und zukünftigen Antriebslösungen.“

© Toyota



Dipl.-Ing. Dietmar Goericke ist Geschäftsführer der FVV und Mitinitiator der deutsch-japanischen Forschungsk Kooperation. „CORNET vernetzt nationale und regionale Programme der Gemeinschaftsforschung verschiedener Länder miteinander, um internationale Forschungsprojekte auch zugunsten kleiner und mittelständischer Unternehmen zu ermöglichen und die FVV weiter zu internationalisieren.“

© FVV



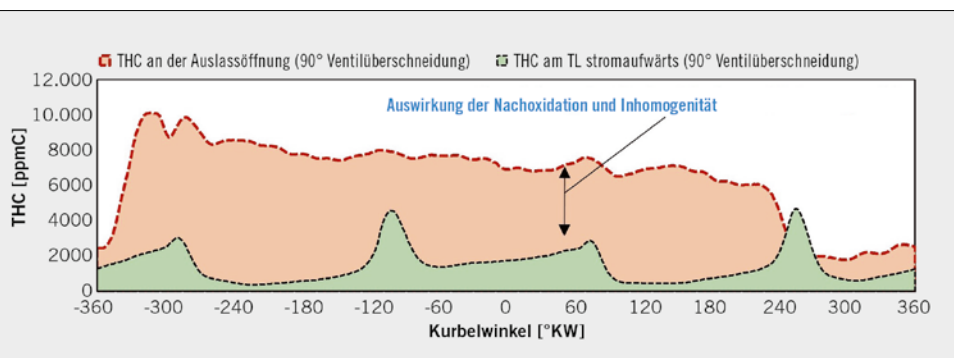


BILD 1 Gemessene Konzentration unverbrannter Kohlenwasserstoffe (Total Hydro Carbon, THC) im Auslasskanal sowie hinter dem Turbolader (TL) für einen Betriebspunkt bei 1600/min, mittlerer Last und 90° Ventilüberschneidung (© FVV)

dern und Regionen beteiligt. Die Förderung der Projekte erfolgt auf Basis der nationalen und regionalen Mechanismen, wobei das Prinzip der inländischen Besteuerung verfolgt wird. Eine gemeinsame Durchführung von Forschungsvorhaben mit deutschen und ausländischen Einrichtungen ist daher daran gekoppelt, dass die deutsche Forschungsvereinigung eine Partnerorganisation in jenem Land findet, dessen Forschungsstellen einbezogen werden sollen.

Aufgrund der starken Stellung des Motoren- und Turbomaschinenbaus innerhalb Deutschlands arbeitete die FVV lange Zeit und bis auf wenige Ausnahmen mit den sehr leistungsfähigen nationalen Forschungsstellen zusammen. Die für die vorwettbewerblichen Arbeiten benötigten Versuchseinrichtungen waren im Inland vorhanden oder wurden – wie der Gleitlagerprüfstand an der Technischen Universität Clausthal – von der FVV gemeinsam mit anderen Forschungsvereinigungen finanziert. Eine Ausnahme stellt die traditionell enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Energietechnik der ETH Zürich dar, das über weltweit einzigartige Versuchseinrichtungen verfügt. So erlaubt die in Zürich betriebene schnelle Verdichtungs- und Expansionsmaschine die detaillierte optische Untersuchung einzelner Verbrennungsvorgänge bei Drücken von mehr als 100 bar und Temperaturen von mehr als 950 K.

Im letzten Jahrzehnt hat sich das Forschungsnetzwerk der FVV zunehmend internationalisiert; neue Mitglieder aus dem europäischen und außereuropäischen Raum wurden gewonnen. Mit der Öffnung trug die Forschungsvereinigung der fortschreitenden Globalisierung der

eigenen Mitgliedsunternehmen Rechnung. Insbesondere die Zusammenarbeit mit Japan wurde stark ausgebaut und über bilaterale Projekte vertieft. Nach dem Vorbild der FVV gründete sich im Jahr 2014 die Forschungsvereinigung Fahrzeugmotoren (Research Association of Automotive Internal Combustion Engines, AICE). Nach umfangreichen Vorarbeiten und Abstimmungen reichte die FVV im Jahr 2017 das erste deutsch-japanische Pilotprojekt „Nachoxidation“ bei CORNET ein [1], das mittlerweile kurz vor dem Abschluss steht. Fördergeber auf japanischer Seite ist die Entwicklungsorganisation für Erneuerbare Energie und Industrielle Technik (New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO). Seither wurden weitere Projekte mit internationalen Fördergebern und Forschungsstellen initiiert.

2 PROJEKT NACHOXIDATION

Für das erste CORNET-Projekt, das die Zusammenarbeit deutscher und japanischer Forschungsstellen begründen sollte, bedurfte es einer Reihe von Abwägungen inhaltlicher und organisatorischer Art. Vorrangig war die Auswahl des Themas: es sollte sowohl die Kompetenzen der Forschungsstellen als auch die industrielle Umsetzbarkeit in beiden Ländern berücksichtigen, wobei das Forschungsthema selbst die Zukunftsfähigkeit der Verbrennungsmaschine an sich belegen sollte.

Mit der Modellierung der Nachoxidation im ottomotorischen Abgas wurde ein solches Thema gefunden. Unter Nachoxidation wird die Oxidation brennbarer Komponenten (H_2 , CO, HC) aus einer fetten Verbrennung in sauer-

stoffhaltigem Abgas verstanden. Der Sauerstoffüberschuss kann durch geeignete Ventilsteuerzeiten erreicht werden, mit denen angesaugte Luft durch das geöffnete Auslassventil während der Ventilüberschneidungsphase direkt in den Abgastrakt abgegeben wird. Dieser Vorgang wird als Scavenging bezeichnet, er führt zu einem geringeren Restgasgehalt im Brennraum und damit zu einer geringeren Klopfneigung. Zudem resultieren die Exothermie der Nachoxidation und der erhöhte Volumenstrom in einem höheren Enthalpiestrom, der durch den Abgasturbolader in einen höheren Ladedruck und ein besseres Ansprechverhalten umgesetzt wird. Um den Drei-Wege-Katalysator weiterhin im Konvertierungsfenster zu halten, ist eine optimale Regelung der Nachoxidation erforderlich. Diese Herausforderung verschärft sich in transienten Betriebsbereichen und kann zu unerwünschten Emissionspitzen bei Messungen im praktischen Fahrbetrieb führen.

Ansatzpunkt des vom Department of Mechanical Engineering der Universität Chiba, dem Aizawa Lab der Universität Meiji und dem Institut für Fahrzeugtechnik der Universität Stuttgart gemeinsam durchgeführten Vorhabens [1] ist daher, ein handhabbares null- beziehungsweise eindimensionales Modell für die Nachoxidation zu entwickeln, mit dem die virtuelle Bedienung von Motorsteuergeräten möglich wird. Der erste Schritt für die Erstellung eines solchen Modells war die Identifikation der Kennfeldbereiche durch Variation der Steuerzeiten, in denen die Nachoxidation auch stationär möglich sein sollte, um eine gute Reproduzierbarkeit der Messergebnisse sicherstellen zu können. Dazu wurden Untersuchungen an einem Vollmotor durchgeführt, der zuvor mit spezieller Messtechnik im Auslasskrümmer sowie vor und hinter dem Turbolader ausgerüstet wurde. Für die Modellentwicklung konnte ein ausreichend großer Kennfeldbereich mit Nachoxidation gefunden werden, **BILD 1**. Bereits in dieser Projektphase zeigte sich, dass eine ausgeprägte Abhängigkeit von dem Sauerstoffgehalt, der Abgastemperatur und der Durchmischung besteht. Daran anschließend wurde die Reaktionskinetik modelliert, deren Verständnis für den Aufbau einer validen dreidimensionalen numerischen Strömungssimulation

(Computational Fluid Dynamics, CFD) unabdingbar ist. Dabei zeigte sich unter anderem, dass die Wasserstoffverbrennung aus der fetten Verbrennung einen guten Marker für die Nachoxidation darstellt. Die aus diesem Projekt hervorgegangene direkte Messung der Wasserstoffkonzentration stellt eine neue Vorgehensweise dar. Die sich anschließenden CFD-Simulationen wurden sowohl mit einem Modell des Vollmotors als auch mit einem deutlich feinmaschigeren Modell des Auslasskanals durchgeführt. Die mit dem höher aufgelösten Netz erzielten Datensätze waren wiederum notwendig, um das Modell des Vollmotors zu validieren. Das Gemeinschaftsvorhaben wird im Februar 2021 abgeschlossen. Es ist bereits jetzt absehbar, dass am Ende der Arbeiten ein eindimensionales Modell entstanden sein wird, das mit wenigen Sekunden Rechenzeit valide Vorhersagen der Nachoxidation in transienten Betriebszuständen ermöglicht. Weiterer Forschungsbedarf besteht bezüglich der Validierung an anderen Motoren, der Prüfung der Übertragbarkeit auf andere Nachoxidationsprozesse, beispielsweise der Sekundärlufteinblausung beim Motorwarmlauf, sowie der Abhängigkeit von synthetischen Kraftstoffen, sogenannten E-Fuels.

3 PROJEKT MESSUNG VON KRAFTSTOFF- UND ÖLTRANSPORT

In einem zweiten deutsch-japanischen CORNET-Forschungsvorhaben sollen innovative Messverfahren eingesetzt werden, um die Ölfilmstärke sowie den Kraftstoff- und Öltransport in der Kolben-

gruppe zu analysieren [2]. Obwohl bereits in einer Reihe von FVV-Vorhaben ähnliche Untersuchungen durchgeführt wurden, erhoffen sich die Forscher neue Erkenntnisse, um sowohl die Reibung als auch das Emissionsverhalten von Verbrennungsmotoren zu optimieren. Dazu sollen sowohl an Diesel- als auch an Ottomotoren Messungen mittels einer laserinduzierten Fluoreszenz und einer photochromatischen Methode durchgeführt werden. Unter Photochromie versteht man die reversible Veränderung des Absorptionsspektrums unter Anregung durch UV-Licht, **BILD 2**. Da die Anregung relativ lange auch nach dem Ausschalten der UV-Quelle anhält, kann auf diesem Weg zum Beispiel auch der Öltransport und der Transport von Kraftstoffresten visualisiert werden. Durch die zuvor noch nie kombinierten Methoden soll ein wesentlich tieferes Verständnis für die im Motorbetrieb ablaufenden Prozesse möglich werden. Die Ergebnisse sollen nicht nur der Verbesserung der eingesetzten Messtechnik dienen, sondern auch die Erstellung neuer Simulationswerkzeuge unterstützen. An der Umsetzung des Anfang 2020 gestarteten Vorhabens sind vier Forschungsstellen beteiligt: die Universitäten Tokai und Tokyo City aus Japan, das Institut für Analytische Messtechnik Hamburg, und der Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen der Technischen Universität München.

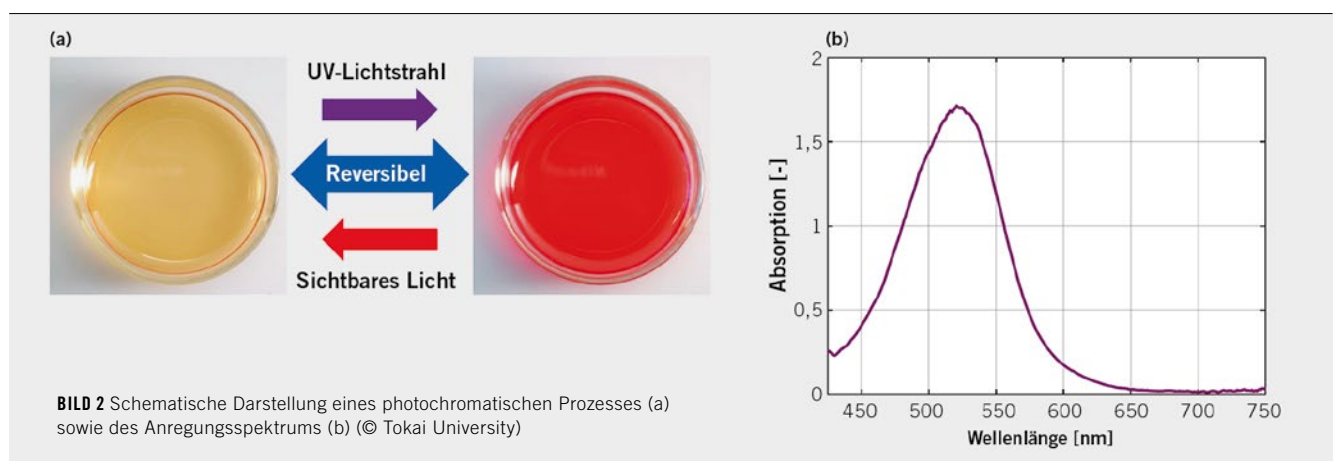
4 PROJEKT EINSPRITZUNG SYNTHETISCHER KRAFTSTOFFE

Noch in der Startphase befindet sich das bislang internationalste CORNET-Projekt: gemeinsam sollen Forschungs-

stellen aus Deutschland, Österreich, den USA und China das Einspritzverhalten künftiger synthetischer Kraftstoffe für selbstzündende Motoren untersuchen [3]. **BILD 3**, **BILD 4** und **BILD 5** zeigen eingesetzte labortechnische Geräte von beteiligten Einrichtungen. Zur Untersuchung dieser Kraftstoffe werden einzelne Komponenten wie n-Alkane, Alkohole oder Oximethylether mit verschiedenen Messverfahren auf das Strahl- beziehungsweise Zündverhalten getestet sowie dessen Abhängigkeit von äußeren Parametern. Die labortechnische Ausrüstung der insgesamt fünf beteiligten Institute erlaubt eine breite Abdeckung der heute zur Verfügung stehenden Messtechnik und schafft damit die Voraussetzung, die einzelnen Kraftstoffkomponenten schnell und zuverlässig zu charakterisieren. Damit kann das Vorhaben wesentlich zu einer raschen Markteinführung von Kraftstoffen beitragen, die selbst unter Well-to-Wheel-Aspekten weniger oder nahezu kein CO₂ freisetzen.

5 FAZIT UND PERSPEKTIVEN

Das erste Fazit der neuen internationalen Kooperationen ist sehr positiv. Die vorliegenden Erfahrungen zeigen, dass die CORNET-Projekte alle drei Säulen der FVV stärken – Technologie, Netzwerk und Nachwuchs. Die gemeinsame Arbeit, die die Kompetenzen und Labore verschiedener Forschungsstellen bündelt, führt dazu, dass die vorwettbewerbliche Industrielle Gemeinschaftsforschung schneller und mit deutlich geringerem Mittelaufwand verwertbare Erkenntnisse erhält. International erarbeitete Techno-



logie-Knowhow zu Zukunftsthemen wie der weiteren Verringerung von Abgasemissionen oder dem Einsatz synthetischer Kraftstoffe kann auf diesem Weg auch kleineren und mittelständische Unternehmen zur Verfügung gestellt werden. Besonders für diese Unternehmen, die sich ebenfalls in der stark globalisierten Motorenindustrie behaupten müssen, ist es eine große Herausforderung, ein eigenes Netzwerk aus Forschungs- und Entwicklungspartnern aufzubauen und zu pflegen. Das CORNET-Programm und die kontinuierliche Begleitung der Projekte durch FVV-Arbeitskreise stellen deshalb insbesondere für den Mittelstand eine große Chance dar. Für die FVV selbst bedeuten die Kooperationen eine stärkere Vernetzung mit den ausländischen Mitgliedern, sie vertiefen das gegenseitige Verständnis. Die Arbeit in internationalen Forschungsprojekten birgt für Nachwuchsingenieure Herausforderungen in mehrfacher Hinsicht. Neben komplexen Fragestellungen technischer Natur sind auch Aufgaben im Projektmanagement und nicht zuletzt interkulturelle Begegnungen zu meistern. Die CORNET-Projekte sind deshalb in besonderer Weise dazu geeignet, den Nachwuchs auf spätere berufliche Aufgaben in einer global agierenden Industrie vorzubereiten. Allein vor dem Hintergrund, dass die Mittel für die vorwettbewerbliche Industrielle Gemeinschaftsforschung auf eine zunehmend höhere Varianz an Antrieben und Energieträgern verteilt



BILD 3 Konstant-Durchfluss-Behälter der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) (© FAU)

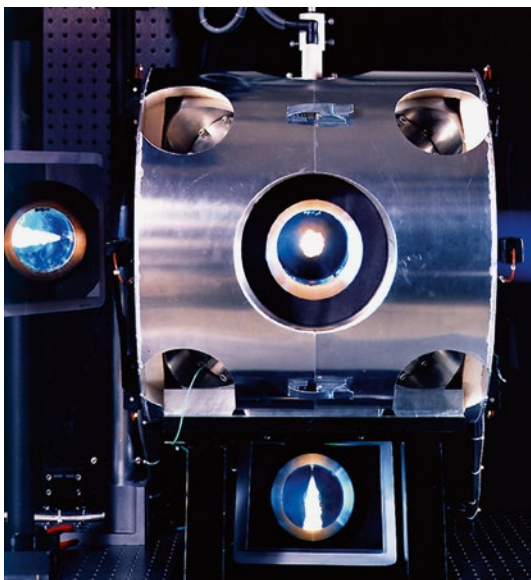
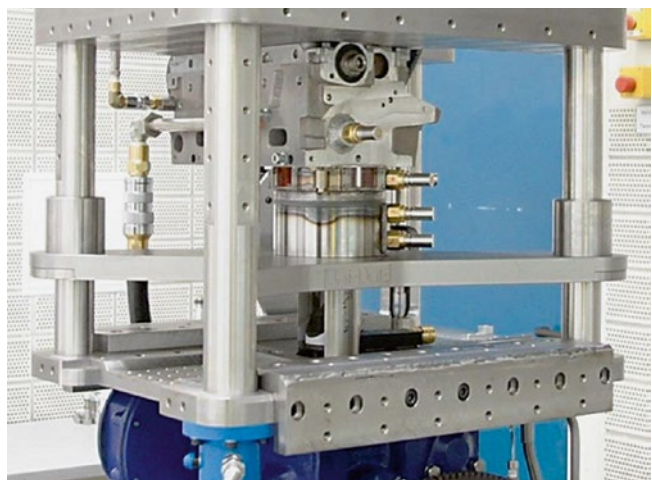


BILD 4 Konstant-Volumen-Behälter der Sandia National Laboratories (SNL) in den USA (© SNL)

BILD 5 Optisch zugänglicher Dieselmotor der Universität Duisburg-Essen (© Universität Duisburg-Essen)



werden müssen, empfiehlt es sich, Forschungsvorhaben so ressourceneffizient wie möglich anzulegen und die Potenziale, die in einer internationalen Zusammenarbeit liegen, zu nutzen.

LITERATURHINWEISE

[1] IGF-Forschungsvorhaben „Nachoxidation (HC, CO und Partikel) im Abgaskrümmner bei Ottomotoren“. Europäische Fördergeber: CORNET (234 EN/1) und FVV (1336). Projektleitung: Christine Burkhardt (EnginOS), Yoshihiro Imaoka (Nissan Motor). Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende (Institut für Fahrzeugtechnik, Universität Stuttgart), Prof. Dr.-Ing. Yasuo Moriyoshi (Chiba University), Prof. Dr.-Ing. Tetsuya Aizawa (Aizawa Lab, Meiji University). In: FVV (Hrsg.): Tagungsband R590, S. 171-200, Frankfurt am Main, 2019

[2] IGF-Forschungsvorhaben “Kraftstoff- und Öltransport in der Kolbengruppe von Verbrennungsmotoren mit Glasliner: Neue optische Verfahren und Ölemission“. Europäische Fördergeber: CORNET (260 EN) und FVV (1396). Projektleitung: Dr.-Ing. Markus Gohl (APL), Motoichi Murakami (Toyota Motor Corp). Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Gerhard Matz (Institut für Analytische Messtechnik, Hamburg), Prof. Dr.-Ing. Georg Wachtmeister (Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen, Technische Universität München), Prof. Dr. Akihiko Azetsu (Tokai University), Dr. Yuji Mihara (Tokyo City University). (Unveröffentlicht)

[3] IGF-Forschungsvorhaben „Einspritzung, Mischung und Selbstzündung von E-Kraftstoffen für CI-Motoren“. Europäische Fördergeber: CORNET (274 EN) und FVV (M2118). Projektleitung: Dr. Uwe Leuteritz (Liebherr). Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. Michael Wensing (Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg), Prof. Dr. techn. Bernhard Geringer (Institut für Fahrzeugantriebe & Automobiltechnik, Technische Universität Wien), Prof. Dr.-Ing. Sebastian Kaiser (Institut für Verbrennung und Gasdynamik, Universität Duisburg-Essen), Lyle Pickett (Sandia National Laboratories), Prof. Dong Han (Shanghai Jiao Tong University). (Unveröffentlicht)

DANKE

Die Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V. dankt den öffentlichen Fördergebern und allen FVV-Mitgliedern für die großzügige Unterstützung der in diesem Beitrag genannten Forschungsvorhaben. Unser besonderer Dank gilt den Forschungsstellen, Projektleitern und Mitgliedern der Arbeitskreise und projektbegleitenden Ausschüsse für die vertrauensvolle und gute Zusammenarbeit.



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
 Test now for 30 days free of charge:
www.mtz-worldwide.com

